

2017

# 北京园林绿化 建设与发展

北京园林学会  
北京市园林绿化局  
北京市公园管理中心  
主 编



2017

# 北京园林绿化 建设与发展

北京园林学会  
北京市园林绿化局  
北京市公园管理中心  
主 编



科学技术文献出版社  
SCIENTIFIC AND TECHNICAL DOCUMENTATION PRESS

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

2017北京园林绿化建设与发展/北京园林学会,北京市园林绿化局,北京市公园管理中心主编.—北京:科学技术文献出版社,2018.10

ISBN 978-7-5189-4872-7

I. ① 2… II. ① 北… ② 北… ③ 北… III. ① 园林—绿化—建设—研究—北京—2017  
IV. ① S732.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 235271 号

## 2017北京园林绿化建设与发展

---

策划编辑:张 微      责任编辑:张 微      责任校对:文 浩      责任出版:张志平

---

出 版 者 科学技术文献出版社

地 址 北京市复兴路15号 邮编 100038

编 务 部 (010) 58882938, 58882087 (传真)

发 行 部 (010) 58882868, 58882870 (传真)

邮 购 部 (010) 58882873

官 方 网 址 [www.stdp.com.cn](http://www.stdp.com.cn)

发 行 者 科学技术文献出版社发行 全国各地新华书店经销

印 刷 者 三河市腾飞印务有限公司

版 次 2018年10月第1版 2018年10月第1次印刷

开 本 889×1194 1/16

字 数 425千

印 张 18.25

书 号 ISBN 978-7-5189-4872-7

定 价 136.00元

---



版权所有 违法必究

购买本社图书,凡字迹不清、缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

## 《2017 北京园林绿化建设与发展》编辑委员会

顾 问：张树林

主任委员：邓乃平

副主任委员：周剑平 强 健 张启翔 马立强 端木歧 李炜民

委 员：（以姓氏笔画为序）

王 军 王向荣 田黎明 丛日晨 朱 虹 李 雄  
李延明 李战修 李树华 杨志华 张亚红 赵世伟  
俞孔坚 袁学文 高大伟 徐 佳 揭 俊

## 《2017 北京园林绿化建设与发展》编辑人员

主 编：李延明

编 委：（以姓氏笔画为序）

王永格 王宜彧 王 涛 王 珊 田黎明 丛日晨  
冯 鑫 朱 虹 李延明 李战修 陈 晓 单 进  
赵世伟 徐 佳 高 然 董连勋 揭 俊 端木歧  
蔺 燕

常务责编：王宜彧

校 对：李鸿毅 赵正楠



2017年，我市园林系统紧紧围绕落实首都城市战略定位，不断在功能疏解中扩大新空间，在服务大局中提高新水平，圆满完成了市委、市政府和首都绿化委员会部署的各项任务。全年新增造林绿化面积17.8万亩，实施森林健康经营70万亩，恢复建设湿地2400公顷，新增城市绿地695公顷，持续拓展了新的绿色生态空间。

此次论文集以“2017北京园林绿化建设与发展”为主题，是在2017年北京园林学会学术论坛的基础上，经编委会整理、编辑、出版的。经认真遴选，共有41篇论文入集。全集分为6个版块，包括城市生态篇、园林规划与设计篇、园林工程篇、园林植物篇、园林养护与管理篇、园林文化与公园管理篇，其中园林文化与公园管理篇是近年来论文集中第一次增设的板块，这是因为西山文化带建设项目的启动及公园提质增效管理理念的实施，带来了公园一线人员更多的实践机会，并由此产生了更多的感悟。分析本次论文稿件会发现，如果把其他版块与公园有关的论文计算在内，与公园有关的论文数量是排在第一位的。

本论文集还有很多看点。例如，关于城市口袋公园规划设计，一直是设计行业津津乐道的领域，因其虽小，但见功夫。另外，读者还能看到为实行夜间游园而进行的夜间照明系统建设的尝试；还有，一度久违了的盆景技艺建造技术的讨论又重新回到了读者的视野。在科学研究方面，作者对用叶粗提物抑制黄栌枯萎病菌效果进行了探索，为黄栌枯萎病菌防治这一世界性难题开辟了新的解决途径。上述等诸多话题，凝结了作者的智慧，相信他们的观点会使大家有所裨益。

2018年，北京园林行业仍是大事不断，喜事多多。特别是北京又全面启动了新一轮百万亩造林工程，这将是又一个对北京的生态环境建设产生重大影响的举措。市委、市政府工作部署时多次强调，在新一轮百万亩造林工程中，要统筹山水林田湖草系统治理，以生态的办法解决生态的问题；要以专业方法、科学决策、系统思维推进生态建设，科学选择乡土树种、长寿树种，坚持精细化设计、种植、养护，着力提升城市森林体系的整体性、连通性，大幅提高首都生态建设的规模和质量。相信广大园林工作者会以市委、市政府工作部署为号角，率先垂范，努力工作，再创佳绩。

由于编者水平有限，本论文集在编排和内容等方面难免有不足之处，望同行、学者不吝赐教。

编委会

2018年8月

## ◆城市生态篇◆

|                                      |                         |    |
|--------------------------------------|-------------------------|----|
| 北京天坛公园绿地两种主要生态保健因子功能效应研究·····        | 王月容 段敏杰 刘 晶 郭 佳         | 2  |
| 构建京津冀森林城市群 建设生态修复环境改善示范区·····        | 陈 鹭 田小林                 | 11 |
| 北京市绿道鸟类物种构成对动物媒植物扩散的影响·····          | 蔡 妤 董 丽                 | 17 |
| 颐和园万寿山植物多样性与群落结构研究                   |                         |    |
| ·····                                | 贾 曼 童 玲 吴远密 沈雪梨 朱艺璇 祁延林 | 25 |
| 我国山水城市的山—水—城关系研究·····                | 王建菊                     | 48 |
| 北京城市建成区的绿道建设探索和实践——以海淀三山五园区绿道为例····· | 麻广睿                     | 54 |
| 基于海绵城市语境下的景观实践总结——以京林生态花园建设为例        | 周 浩 谭 琪 丛金萍             | 62 |
| 从生态学角度对北京颐和园植物配置浅析·····              | 李 淼                     | 68 |
| 城郊绿色休闲综合体——城郊森林公园建设新模式的探索            | 安画宇                     | 77 |

## ◆园林规划与设计篇◆

|                                           |             |     |
|-------------------------------------------|-------------|-----|
| 优化城市园林绿化生态功能的策略与方法——以昌平区西部地区环境整治工程为例····· | 董彦君         | 84  |
| 城市新区滨河绿道设计思考——以北京副中心运潮减河绿道为例·····         | 孙少华         | 90  |
| 营建副中心的“后花园”——北京东郊森林公园规划设计回顾·····          | 许健宇         | 96  |
| 欧洲植物园景观设计初探——关于综合性植物园景观设计思路的思考·····       | 刘晓星         | 105 |
| 动物园绿地设计的原则和对策·····                        | 宋利培 赵 静 杨丽雅 | 112 |
| 城市与自然的对话——石榴庄城市休闲森林公园设计思路剖析·····          | 张媛源 姜 悦     | 118 |
| 儿童花园设计理论与实践探索·····                        | 仇 莉 袁 媛     | 124 |
| 城市小型公园绿地——口袋公园规划设计初探·····                 | 董 兮         | 130 |
| 首开香溪郡展示区园林景观与体验式营销的创新实践·····              | 金 环         | 138 |

## ◆园林工程篇◆

|                          |                         |     |
|--------------------------|-------------------------|-----|
| 基于传承保护和创新发展视角下的皇家园林夜景照明  |                         |     |
| ——以颐和园夜景照明工程为例·····      | 刘 聪 荣 华                 | 148 |
| 浅析园路铺装·····              | 刘 毅 阴蛟蛟                 | 154 |
| 海淀区东北旺中心小学屋顶绿化设计与施工····· | 王基石                     | 159 |
| 屋顶绿化常用材料在通州城市副中心的调研与分析   |                         |     |
| ·····                    | 刘婷婷 苏 艺 李泽卿 韩丽莉 王月容 李新宇 | 166 |

## ◆ 园林植物篇 ◆

|                               |             |     |
|-------------------------------|-------------|-----|
| 新优藤本植物扦插繁殖技术的研究·····          | 孙 宜 孙 猛 石青松 | 174 |
| 5个宿根鼠尾草品种苗期抗旱性鉴定·····         | 衣彩洁 石海青     | 181 |
| 复混肥施用对独本菊“金背大红”外观品质的影响研究····· | 王 迎 聂 晶     | 184 |
| 颐和园地被植物的现状与应用·····            | 佟 岩         | 188 |
| 颐和园树木功能应用及实例分析·····           | 赵 卉 付 晨     | 195 |
| 地栽牡丹的整形与修剪·····               | 靳术金 陈志平     | 201 |
| 浅谈北京颐和园盆景创作风格及养护特点·····       | 刘 伟         | 207 |
| 分析生境差异,论北京地区樱花的管理·····        | 王占深         | 211 |

## ◆ 园林养护与管理篇 ◆

|                                  |                             |     |
|----------------------------------|-----------------------------|-----|
| 七种园林树木落叶粗提物对黄栌枯萎病菌的抑制作用<br>····· | 周江鸿 夏 菲 车少臣 葛雨萱 周青红         | 218 |
| 一种新型天敌昆虫蠋螬在林业上的应用<br>·····       | 邢雪松 周 义 刘 君 苏丽娜 胡 奎 朋 康 陈志刚 | 222 |
| 颐和园昆虫种类调查及群落分析·····              | 李 洁                         | 225 |
| 浅谈海淀区在公园绿地建设中雨水利用技术的应用·····      | 杨晓涛                         | 231 |

## ◆ 园林文化与公园管理篇 ◆

|                                               |                 |     |
|-----------------------------------------------|-----------------|-----|
| 西山文化带建设背景下的颐和园保护与发展·····                      | 孙 震             | 240 |
| 圆明园的桥梁艺术·····                                 | 余 莉             | 247 |
| 日本东京城市公园绿地的发展及文化分析与我国城市公园绿地的比较研究·····         | 赵宝林             | 254 |
| 天坛公园品牌科普活动的策划与实践·····                         | 刘育俭 金 衡 姜天垚 张皓楠 | 262 |
| 《北京城市总体规划》下历史名园的保护与发展<br>——以世界文化遗产单位天坛为例····· | 吴晶巍 毕 佳         | 267 |
| 园林文化的发展与繁荣<br>——以颐和园为例试述古典园林古树名木文化的探究与发掘····· | 徐士岐             | 272 |
| 浅析皇家园林古树历史文化内涵——以颐和园古树为例·····                 | 韩红岩 王 丰         | 278 |



# 1 城市生态篇

- 北京天坛公园绿地两种主要生态保健因子功能效应研究
- 构建京津冀森林城市群 建设生态修复环境改善示范区
- 北京市绿道鸟类物种构成对动物媒植物扩散的影响
- 颐和园万寿山植物多样性与群落结构研究
- 我国山水城市的山 - 水 - 城关系研究
- 北京城市建成区的绿道建设探索和实践——以海淀三山五园区绿道为例
- 基于海绵城市语境下的景观实践总结——以京林生态花园建设为例
- 从生态学角度对北京颐和园植物配置浅析
- 城郊绿色休闲综合体——城郊森林公园建设新模式的探索





# 北京天坛公园绿地两种主要生态保健因子功能效应研究

王月容<sup>1</sup> 段敏杰<sup>1</sup> 刘晶<sup>2</sup> 郭佳<sup>1</sup>

(1 北京市园林科学研究院园林绿地生态功能评价与调控技术北京市重点实验室 北京 100102;

2 河北农业大学园林与旅游学院 保定 071000)

**摘要:**选取北京天坛公园内 4 种绿地结构类型及 13 种不同配置模式(一种为水泥铺装空白地面对照)为研究对象,开展了对公园绿地的空气负离子、PM<sub>2.5</sub> 两种主要生态保健因子的单项保健效应定量研究与评价,结果表明:天坛公园春夏两季各样地的负离子浓度日变化均呈早晚低中午高的单峰趋势,秋冬两季变化趋势没有明显的规律。四季负离子浓度大小排序为:夏季>春季>秋季>冬季,各样地中夏季最高平均值为 1577.04 个/cm<sup>3</sup>,冬季最低平均值为 311.94 个/cm<sup>3</sup>;PM<sub>2.5</sub> 浓度日变化除春季外,其他三季的均呈早晚高、中午低的日变化趋势;各样地消减能力排序为:春季>夏季>秋季>冬季,消减率范围为 0.01%~12.98%;各类绿地结构类型生态保健功能效应排序为乔—灌—草最好,乔—草较好,灌—草和纯草类型次之。绿地与裸地两种样地在春、夏、秋三季节里在 8:00~18:00 左右均适合进行户外游憩活动,但最佳游憩时间不同。冬季只有绿地内 10:00~12:00 时间段适宜户外游憩。

**关键词:**生态保健功能;空气负离子;PM<sub>2.5</sub>

绿地的生态保健功能是基于植物景观的生态、美学、社会和生产 4 大功能中以植物对于人的身心健康所产生各类有益影响和作用的综合功能类型<sup>[1]</sup>,其具体表现为生理保健功能和心理保健功能。其中生理保健又包括滞尘、杀菌、吸收有毒气体、调节温度、湿度、降低噪音等<sup>[2-6]</sup>,心理保健包括缓解心理压力与提高环境满意度两方面<sup>[7-8]</sup>。正确监测与评价城市绿地的生态保健功能,能对城市绿地的建设和指导人民的生活都有积极的意义。但是,到目前为止,城市绿地生态保健功能监测与评价还处于一个起步阶段<sup>[9]</sup>,尤其针对城市绿化植物种类本身和群落结构类型的生态保健效益关系、因子方面的研究较少<sup>[10]</sup>,

因此,本研究选取北京市皇家园林天坛公园内不同绿地结构类型及不同配置模式,开展了对公园绿地的空气负离子、PM<sub>2.5</sub> 两种主要的生态保健因子的定量研究与评价,旨在为城市绿地建设工作提供基础数据的同时指导城市居民绿色出行。

## 1 研究区概况与研究方法

### 1.1 研究区概况

天坛公园属皇家园林,在北京市南部,东城区永定门内大街东侧。天坛公园始建于明永乐十八年(1420 年),是国家 5A 级旅游景区。天坛公园

占地约 273 万 m<sup>2</sup>，其中绿化面积约 160 万 m<sup>2</sup>，占公园总面积的 80% 左右，是北京城区面积最大的绿地。园内有各种树木 6 万多株，更有 3500 多株古松柏、古槐绿地面积达 163 万 m<sup>2</sup>，但园内缺乏水域。环境清幽，游人较多。

1.2 研究方法

1.2.1 样地的设定

在天坛公园绿地内，分别选取植物长势较好 4 种绿地配置模式：A：乔—灌—草；B：乔—草；C：灌—草；D：草本；每种类型作三个不同配置模式。同时在研究区选取一个水泥铺装裸地作空白对照点（CK），每个样地面积约 20m×20m，共 13 个样地（图 1）。

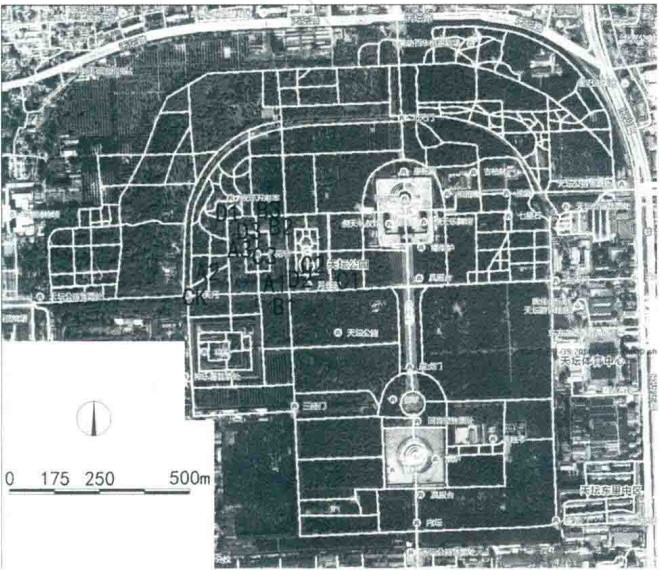


图 1 天坛公园样地分布图（来源：网络）

1.2.2 测定内容及方法

（1）负离子监测

在样地中心点监测，待数据稳定后记录 3 组数据；仪器：DLY-5G AIR ION COUNTER。

（2）PM<sub>2.5</sub> 监测

在样地中心监测 3~5 分钟，仪器自动记录数据；仪器：PDR-1500。

监测时间：设在春季（3~5 月）、夏季（6~8 月）、秋季（9~11 月）、冬季（12、1~2 月）四季，每季度选择 3 天的晴天、微风（风力 3 级以下）、无或轻度污染天气，对每个样地进行同步监测。每天监测时段为早 8：00 至 18：00，每隔 2 小时整点记录。所有仪器于距离地面 1.5m 的高度测量数据。

1.2.3 指标评定方法

（1）负离子

本研究根据世界卫生组织规定指标的清新空气中负离子含量单项指标进行评定<sup>[11]</sup>，按每平方厘米中负离子的个数来划分大气中负离子浓度和与健康的关系，见表 1。

表 1 不同负离子浓度对健康的影响

| 级别 | 数量        | 对健康的影响 |
|----|-----------|--------|
| 1  | ≤ 600     | 不利     |
| 2  | 600~900   | 正常     |
| 3  | 900~1200  | 较有利    |
| 4  | 1200~1500 | 有利     |
| 5  | 1500~1800 | 相当有利   |
| 6  | 1800~2100 | 很有利    |
| 7  | ≥ 2100    | 极有利    |

（2）PM<sub>2.5</sub>

根据 PM<sub>2.5</sub> 的消减率和空气质量分级指数及对应 PM<sub>2.5</sub> 浓度限值（表 2）进行评价。

绿地消减率计算公式<sup>[12]</sup>：

$$P = \frac{C_s - C_m}{C_s} \times 100\%$$

式中，C<sub>s</sub> 代表对照点的 PM<sub>2.5</sub> 浓度，C<sub>m</sub> 代表样地中心的 PM<sub>2.5</sub> 浓度。

表 2 空气质量分级指数及对应 PM<sub>2.5</sub> 浓度限值

| 空气质量指数 (AQI)                               | 0~50 | 51~100 | 101~150 | 151~200 | 201~300 | > 300 |
|--------------------------------------------|------|--------|---------|---------|---------|-------|
| 污染等级 (六级)                                  | 优    | 良      | 轻度      | 中度      | 重度      | 严重污染  |
| PM <sub>2.5</sub> 浓度值 (μg/m <sup>3</sup> ) | < 35 | 35~75  | 76~115  | 116~150 | 151~250 | > 250 |







1.2.4 数据处理方法

本试验所有指标的监测数据均来自于 2015 年四个季度：春季（5 月），夏季（8 月），秋季（10 月下旬到 11 月上旬），冬季（2016 年 1 月）。并选取具有代表北京气候特征的夏季和秋季的气象因子，对负离子以及  $PM_{2.5}$  两项指标做了不同样地间的差异性分析。所有数据均用

EXCEL、SPSS 分析软件进行统计与分析，并进行作图。

2 结果与分析

通过调查天坛公园共有植物 22 科 33 属 38 种，12 个样地具体群落结构特征见表 3。

表 3 天坛公园样地概况

| 样地 | 绿地结构  | 植物群落结构                                                                                                                                    | 郁闭度（或盖度）       |
|----|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| CK | 硬质铺装  | ——                                                                                                                                        | ——             |
| A1 | 乔—灌—草 | 白皮松 ( <i>Pinus bungeana</i> )+ 侧柏 ( <i>Platycladus orientalis</i> )+ 钻石海棠—小叶黄杨 ( <i>Buxus sinica</i> var. <i>parvifolia</i> )+ 丁香—麦冬 + 苔草 | 0.5/8%/80%     |
| A2 | 乔—灌—草 | 侧柏 + 圆柏—连翘 ( <i>Forsythia suspensa</i> )—麦冬 + 苔草                                                                                          | 0.6/12%/85%    |
| A3 | 乔—灌—草 | 国槐 ( <i>Sophora japonica</i> )+ 侧柏 + 白皮松—小叶黄杨—麦冬 + 苔草                                                                                     | 0.45/17.9%/65% |
| B1 | 乔—草   | 侧柏—苔草                                                                                                                                     | 0.65/95%       |
| B2 | 乔—草   | 油松—麦冬                                                                                                                                     | 0.6/85%        |
| B3 | 乔—草   | 圆柏—早熟禾                                                                                                                                    | 0.6/80%        |
| C1 | 灌—草   | 丁香—玉簪                                                                                                                                     | 70%/65%        |
| C2 | 灌—草   | 月季 ( <i>Rosa chinensis</i> )—野生草                                                                                                          | 50%/10%        |
| C3 | 灌—草   | 牡丹 ( <i>Paeonia suffruticosa</i> )—野生草                                                                                                    | 45%/8%         |
| D1 | 草本    | 早熟禾                                                                                                                                       | 85%            |
| D2 | 草本    | 苔草                                                                                                                                        | 92.5%          |
| D3 | 草本    | 芍药 ( <i>Paeonia lactiflora</i> )                                                                                                          | 45%            |

2.1 天坛公园空气负离子保健效应分析

从图 2 可知，在春、夏两季，天坛公园的 13 个样地的空气负离子浓度日变化均呈早晚低中午高的单峰变化，春季峰值均出现在 14：00，夏季峰值出现的时间有所不同。春季负离子浓度日变化较大，最高值为 845 个 / $cm^3$ ，最低值为 223 个 / $cm^3$ ；夏季负离子日变化最大，最高值可达 2483 个 / $cm^3$ ，最低值为 808 个 / $cm^3$ 。秋、冬两季各样地日变化趋势有所不同，且没有规律，日变化范围较小，分别为 292~548 个 / $cm^3$ 、240~383 个 / $cm^3$ 。

根据各样地的负离子浓度季节变化值（表 4），

在春季，对照样地 CK 的负离子浓度最低，为 306 个 / $cm^3$ ，最高的是 B3，浓度值为 526 个 / $cm^3$ ，各样地之间相差较大。从均值来看各样地负离子浓度的大小顺序为：B3>D1>A2>A3>D3>C3>B2>C2>C1>B1>D2>A1>CK。按照清新空气中负离子含量单项指标进行评定，所有样地的负离子日平均浓度均属 1 级，未达到生态保健功能效应值。

在夏季，对照样地 CK 的负离子浓度最低，为 1195 个 / $cm^3$ ；绿地中负离子浓度最高的是 B3，浓度值为 1624 个 / $cm^3$ ，最低为 B1，浓度值为 1336 个 / $cm^3$ ，各样地之间相差较大。各样地负离子浓度的大小顺序为：B3>A3>B2>A2>D2>



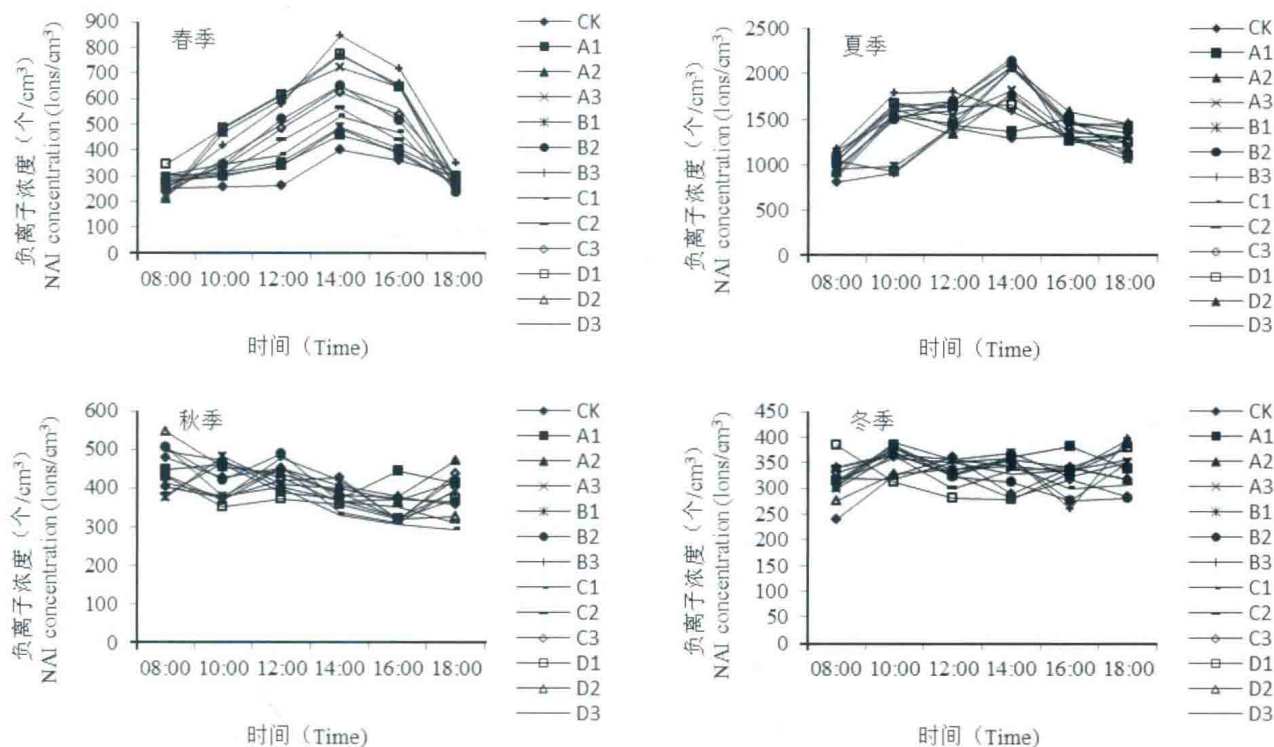


图2 天坛公园各样地负离子日变化

$C1 > C2 > D3 > C3 > D1 > A1 > B1 > CK$ 。A3、A2、B2、B3、D2样地的负离子日平均浓度均属5级，对人体健康相当有利。A1、B1、C1、C2、C3、D1、D3属于4级，对人体健康有利。CK属于3级，对人体健康较有利。对各样地的负离子浓度进行差异性分析，结果（表5）表明除样地B3（圆柏—早熟禾）的负离子浓度显著高于对照样地（ $P < 0.05$ ），其他样地之间均没有显著差异（ $P > 0.05$ ）。

在秋季，对照样地CK的负离子浓度为412个/ $\text{cm}^3$ ；绿地中负离子浓度最高的是A1，浓度值为420个/ $\text{cm}^3$ ，最低为D1，浓度值为367个/ $\text{cm}^3$ ，各样地之间相差不大，各样地负离子浓度的大小顺序为：A1>B2>A2>D2>CK>B1>B3>D3>C3>C2>

$C1 > A3 > D1$ 。所有样地的负离子日平均浓度均属1级，不利于人体健康。对13个样地进行差异性分析，结果显示各样地之间负离子浓度差异未达到显著水平（ $P > 0.05$ ）。

在冬季，对照样地CK的负离子浓度最低，为312个/ $\text{cm}^3$ ；绿地中负离子浓度最高的是A1，浓度值为352个/ $\text{cm}^3$ ，各样地之间相差较小，各样地负离子浓度的大小顺序为：A1>B1>C2>A2>B3>D2>D3>C1>A3>D1>C3>B2>CK。所有样地的负离子日平均浓度均属1级，不利于人体健康。

天坛公园四季负离子浓度大小排序为：夏季>春季>秋季>冬季。春秋两季相差不大。



表 4 天坛公园各样地负离子浓度季节变化值

| 样地       | 绿地结构  | 负离子浓度 (个/cm <sup>3</sup> ) |         |        |        |        |
|----------|-------|----------------------------|---------|--------|--------|--------|
|          |       | 春季                         | 夏季      | 秋季     | 冬季     | 年平均值   |
| CK       | 硬质铺装  | 305.61                     | 1195.00 | 411.85 | 311.94 | 556.10 |
| A1       | 乔—灌—草 | 340.56                     | 1360.56 | 420.28 | 351.67 | 618.26 |
| A2       | 乔—灌—草 | 498.06                     | 1516.11 | 417.31 | 341.67 | 693.29 |
| A3       | 乔—灌—草 | 489.44                     | 1577.04 | 378.98 | 333.06 | 694.63 |
| B1       | 乔—草   | 359.17                     | 1335.93 | 407.31 | 343.89 | 611.57 |
| B2       | 乔—草   | 417.50                     | 1533.70 | 419.07 | 313.33 | 670.90 |
| B3       | 乔—草   | 525.83                     | 1624.44 | 403.33 | 340.00 | 723.40 |
| C1       | 灌—草   | 377.78                     | 1498.70 | 382.22 | 333.33 | 648.01 |
| C2       | 灌—草   | 392.78                     | 1479.07 | 382.73 | 343.06 | 649.41 |
| C3       | 灌—草   | 422.78                     | 1455.93 | 395.74 | 317.50 | 647.99 |
| D1       | 草本    | 524.17                     | 1419.07 | 367.13 | 327.22 | 659.40 |
| D2       | 草本    | 342.78                     | 1507.41 | 412.69 | 335.00 | 649.47 |
| D3       | 草本    | 426.94                     | 1476.48 | 396.31 | 334.44 | 658.55 |
| 平均值 Mean | —     | 417.18                     | 1459.96 | 399.61 | 332.78 | 652.38 |

表 5 天坛公园夏季各样地的负离子浓度差异性分析结果

| 样地 | 负离子浓度均值 (个/cm <sup>3</sup> ) |
|----|------------------------------|
| B3 | 1624.44 ± 156.32a            |
| A3 | 1577.04 ± 201.32 ab          |
| B2 | 1533.70 ± 137.28 ab          |
| A2 | 1516.11 ± 173.99 ab          |
| D2 | 1507.41 ± 64.64 ab           |
| C1 | 1498.70 ± 124.56 ab          |
| C2 | 1479.07 ± 110.16 ab          |
| D3 | 1476.48 ± 167.08 ab          |
| C3 | 1455.93 ± 160.63 ab          |
| D1 | 1419.07 ± 229.41 ab          |
| A1 | 1360.56 ± 67.96 ab           |
| B1 | 1335.93 ± 39.46ab            |
| CK | 1195.00 ± 13.92 b            |

注：平均值 ± 标准误差，不同小写字母代表差异性显著 (P<0.05)。

从监测结果来看，在春、夏、冬三季，绿地均能提高负离子浓度，且在春、夏两季发挥作用较大，冬季较小。四季各个样地的负离子浓度大小排序有所不同，这与样地季节不同而导致郁闭度不同以及植物本身的生长特性有关。从年平均值来看，所有样地负离子浓度大小排序为：B3>

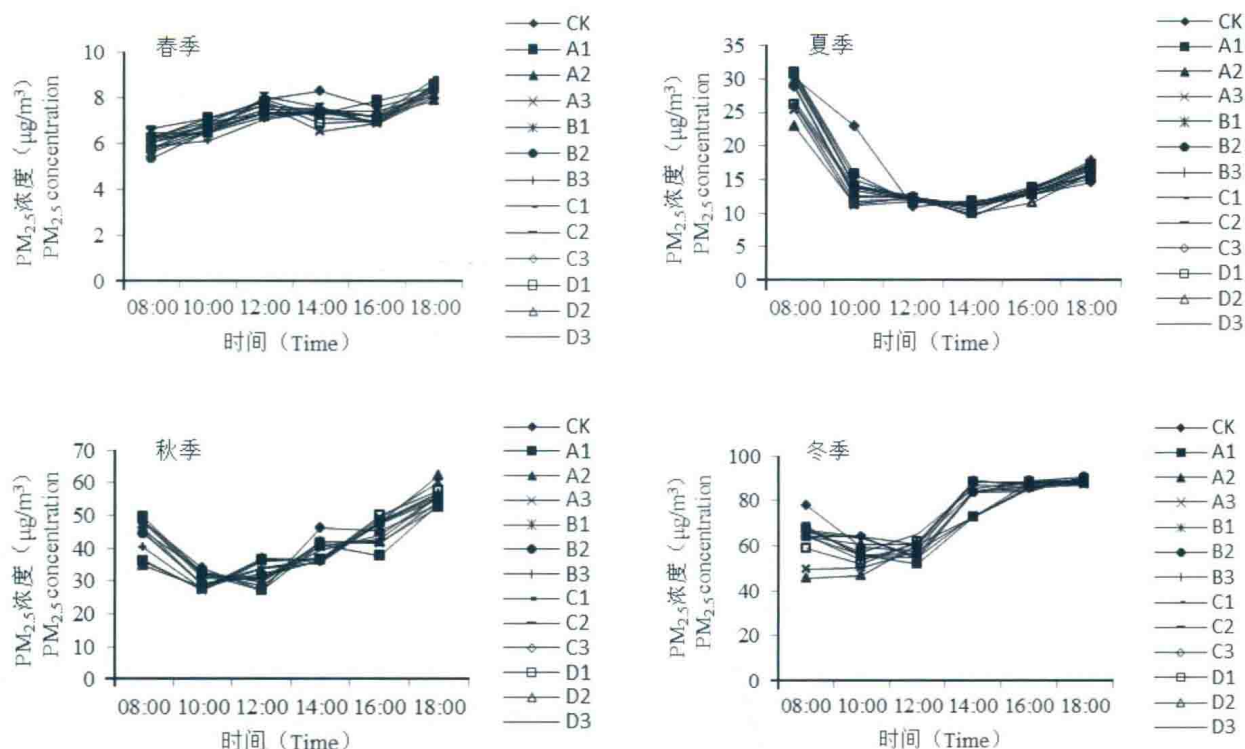
A3>A2>B2>D1>D3>D2>C2>C1>C3>A1>B1>CK。空气负离子浓度最高的四种结构类型样地分别为：乔灌草结构 A3(国槐+侧柏+白皮松—小叶黄杨—麦冬+苔草)，乔草结构 B3(圆柏—早熟禾)，灌草结构 C2(月季—野生草)，草本结构 D1(早熟禾)。整体上，不同植被结构空气负离子浓度的大小顺序是：乔灌草结构>乔草结构>草地结构>灌草结构>对照，乔灌草和乔草相差甚微。

2.2 天坛公园绿地消减 PM<sub>2.5</sub> 保健效应分析

由图 3 可知，在春季，天坛公园各个样地内 PM<sub>2.5</sub> 浓度的日变化趋势较为一致，表现为早上最低，8:00 后开始升高，12:00 后，一些样地开始下降，16:00 后又开始上升，18:00 达到最高值。所有样地的 PM<sub>2.5</sub> 浓度较低，日变化范围最小 (5~9 μg/m<sup>3</sup>)。在夏、秋、冬三季，天坛公园各个样地内 PM<sub>2.5</sub> 浓度的日变化趋势整体上较为一致，表现为双峰单谷，早晚高中午低。夏季日变化范围不大 (9~32 μg/m<sup>3</sup>)，冬季日变化范围最大 (45~91 μg/m<sup>3</sup>)。

由表 6 可看出，在春季 13 个样地 PM<sub>2.5</sub> 浓度相差甚少，CK(对照点)浓度最高，为 8μg/m<sup>3</sup>，



图3 天坛公园各样地 PM<sub>2.5</sub> 日变化

但仅高于其他样地  $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  左右。这可能是 PM<sub>2.5</sub> 浓度特别低时, 绿地对 PM<sub>2.5</sub> 消减作用并不明显。在夏季, CK (对照点) 浓度最高, 为  $17.2\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A2 最低, 为  $14.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 各样地浓度相差较小, 差异不显著 ( $P>0.05$ )。在秋季, CK 浓度最高, 为  $42.49\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A1 最低, 为  $40.15\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 所有样地浓度相差很小, 差异不显著 ( $P>0.05$ )。在

冬季, D3 浓度最高, 为  $75.29\mu\text{g}/\text{m}^3$ , A2 最低, 为  $69.86\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 所有样地浓度相差比其他三季要大。根据空气质量分级指数及对应 PM<sub>2.5</sub> 浓度限值可知, 天坛公园所有样地的污染等级在春、夏两季为优, 秋、冬两季为良。

天坛公园四季的 PM<sub>2.5</sub> 浓度大小排序为: 冬季 > 秋季 > 夏季 > 春季。

表6 天坛公园 PM<sub>2.5</sub> 浓度季节变化值

| 样地       | 绿地结构  | PM <sub>2.5</sub> 浓度 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) |       |       |       | 年平均值  |
|----------|-------|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|          |       | 春季                                                | 夏季    | 秋季    | 冬季    |       |
| CK       | 硬质铺装  | 7.55                                              | 17.23 | 42.49 | 73.73 | 35.25 |
| A1       | 乔—灌—草 | 7.23                                              | 16.40 | 40.15 | 70.79 | 33.64 |
| A2       | 乔—灌—草 | 7.17                                              | 14.85 | 41.14 | 69.86 | 33.25 |
| A3       | 乔—灌—草 | 7.09                                              | 15.08 | 41.03 | 70.44 | 33.41 |
| B1       | 乔—草   | 7.23                                              | 16.21 | 41.16 | 70.95 | 33.89 |
| B2       | 乔—草   | 7.01                                              | 15.74 | 40.69 | 73.29 | 34.18 |
| B3       | 乔—草   | 7.00                                              | 15.53 | 40.43 | 73.57 | 34.13 |
| C1       | 灌—草   | 7.14                                              | 15.83 | 41.70 | 74.08 | 34.69 |
| C2       | 灌—草   | 7.34                                              | 15.85 | 41.53 | 73.69 | 34.60 |
| C3       | 灌—草   | 7.17                                              | 15.74 | 41.31 | 74.81 | 34.76 |
| D1       | 草本    | 7.25                                              | 15.22 | 40.71 | 73.23 | 34.10 |
| D2       | 草本    | 7.13                                              | 15.73 | 40.75 | 72.28 | 33.97 |
| D3       | 草本    | 7.15                                              | 15.87 | 41.68 | 75.29 | 35.00 |
| 平均值 Mean | —     | 7.19                                              | 15.79 | 41.14 | 72.77 | 34.22 |





由表 7 可知,在春、夏、秋三季,天坛公园各绿地均对  $PM_{2.5}$  有明显的消减作用,在冬季,大部分绿地对  $PM_{2.5}$  消减作用不明显。在春季, $PM_{2.5}$  消减率最高的是 B3,为 8.53%,最低是 C2,为 0.53%。天坛公园不同样地对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小为:  $B3>B2>D3>A3>C1>D2>C3>A2>A1>D1>B1>C2$ 。

在夏季, $PM_{2.5}$  消减率最高的是 A2,为 12.98%,最低为 A1,为 6.36%。天坛公园不同样地对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小为:  $A2>A3>B3>D1>C3>B2>C1>D3>C2>D2>B1>A1$ 。

在秋季, $PM_{2.5}$  消减率最高的是 B3,为 4.66%,最低为 C<sub>1</sub>,为 1.96%。天坛公园不同样地对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小为:  $B3>B2>A1>D1>A2>D2>B1>A3>C3>D3>C2>C1$ 。

在冬季, $PM_{2.5}$  消减率最高的是 A2,为 5.31%,最低为 C<sub>2</sub>,为 0.01%。天坛公园不同样地对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小为:  $A2>A1>A3>B1>D2>C3>D1>C1>B2>B3>D3>C2$ 。

从年平均值来看,天坛公园各样地对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小为:  $A2>B3>A3>B2>D2>D1>A1$

$>B1>C1>C3>D3>C2$ 。 $PM_{2.5}$  的消减能力最大的四种结构类型样地分别为:乔灌草结构 A2(侧柏+圆柏—连翘—麦冬+苔草),乔草结构 B3(圆柏—早熟禾),灌草结构 C1(丁香—玉簪),草本结构 D2(早熟禾+苔草)。整体上,不同结构类型对  $PM_{2.5}$  的消减能力大小排序为:乔灌草结构>乔草结构>草本结构>灌草结构,有乔木的绿地类型具有林冠,郁闭度较大,绿量较多,因此对  $PM_{2.5}$  的消减能力较强。天坛公园所选取的灌草类型(C2、C3)为植株矮小的牡丹和月季,且样地裸露地面较多,覆盖率最小,因此对  $PM_{2.5}$  的消减能力最小。

公园整体对  $PM_{2.5}$  消减能力从高到低为:夏季>春季>秋季>冬季。天坛公园多植松柏,树木整体为规则式种植,即使植物生长进入旺盛期,林内郁闭度和草本的覆盖度都达到最高,通透性也很好。此外,天坛公园内没有水系,湿度要明显低于有水系的其他公园,所以夏季绿地对  $PM_{2.5}$  的消减率大于春季。冬季最低的主要原因是冬季是采暖期,空气污染物排放量较大,且温度低,降雨少,不利于颗粒物的扩散和沉淀。

表 7 天坛公园各绿地对  $PM_{2.5}$  消减率

| 样地       | 绿地结构  | $PM_{2.5}$ 消减率 (%) |       |      |      |      |
|----------|-------|--------------------|-------|------|------|------|
|          |       | 春季                 | 夏季    | 秋季   | 冬季   | 年平均值 |
| A1       | 乔—灌—草 | 3.45               | 6.36  | 4.50 | 4.57 | 4.72 |
| A2       | 乔—灌—草 | 4.02               | 12.98 | 3.45 | 5.31 | 6.44 |
| A3       | 乔—灌—草 | 6.10               | 11.93 | 2.70 | 4.55 | 6.32 |
| B1       | 乔—草   | 2.78               | 7.23  | 2.75 | 4.23 | 4.25 |
| B2       | 乔—草   | 7.22               | 10.65 | 4.58 | 0.45 | 5.72 |
| B3       | 乔—草   | 8.53               | 11.80 | 4.66 | 0.38 | 6.34 |
| C1       | 灌—草   | 5.25               | 9.79  | 1.96 | 0.70 | 4.23 |
| C2       | 灌—草   | 0.53               | 9.39  | 2.18 | 0.01 | 3.03 |
| C3       | 灌—草   | 5.12               | 10.74 | 2.61 | 1.85 | 4.16 |
| D1       | 草本    | 3.23               | 11.50 | 3.97 | 0.57 | 4.82 |
| D2       | 草本    | 5.20               | 9.02  | 3.28 | 1.90 | 4.85 |
| D3       | 草本    | 6.15               | 9.57  | 2.23 | 0.37 | 4.02 |
| 平均值 Mean | —     | 4.80               | 10.08 | 3.24 | 1.52 | 4.91 |

表 8 两种样地四个季节里适宜游憩时间

| 样地  | 游憩时间类型                   | 春季          | 夏季          | 秋季          | 冬季          |
|-----|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 绿地内 | 适宜游憩时间                   | 8:0—18:00   | 08:00—18:00 | 8:00—18:00  | 8:00—12:00  |
|     | Suitable recreation time |             |             |             |             |
|     | 最佳游憩时间                   | 8:00—10:00  | 10:00—16:00 | 10:00—16:00 | 10:00—12:00 |
|     | The best recreation time | 16:00—18:00 |             |             |             |
| 裸地  | 适宜游憩时间                   | 8:00—18:00  | 8:00—18:00  | 8:00—18:00  | —           |
|     | Suitable recreation time | 16:00—18:00 |             |             |             |
|     | 最佳游憩时间                   | 8:00—10:00  | 10:00—16:00 | 10:00—16:00 | —           |
|     | The best recreation time | 16:00—18:00 |             |             |             |

综合两种主要的生态保健因子（主要是PM<sub>2.5</sub>）观测与评价数据，天坛公园四季适宜游憩的时间见表 8：从表 8 所显示的游憩时间来看，天坛公园绿地内外春、夏、秋三季一天中 8:00~18:00 左右均适合进行户外游憩，春季最好选择在 8:00~10:00，16:00~18:00 两时间段，夏秋季最好选择在 10:00~16:00，冬季裸地内不适宜在此游憩，绿地内则最好选在 10:00~12:00 时间段内进行户外游憩。

3 结论与讨论

空气负离子的研究表明，在春、夏两季，绿地均能提高负离子浓度，在秋、冬两季，大部分绿地负离子浓度高于对照。天坛公园样地间的负离子浓度在夏季存在显著差异。乔灌草结构负离子浓度最高，郁闭度高的乔草结构以及密度较大的灌草结构次之，草本结构最低。

各结构类型绿地消减空气中的 PM<sub>2.5</sub> 含量的研究表明，各类型绿地在春、夏两季均能明显降低空气中的 PM<sub>2.5</sub> 含量，秋季较弱，冬季不明显。天坛公园呈现乔灌草 > 乔草 > 草本 > 灌草结构

的趋势，消减率范围为 0.01%~12.98%；公园整体对 PM<sub>2.5</sub> 消减能力从高到低为：夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季。

各个绿地对 PM<sub>2.5</sub> 的消减率各不相同，且不同季节绿地对 PM<sub>2.5</sub> 的消减能力排序亦不相同，这是因为不同树种在减少 PM<sub>2.5</sub> 污染的功能上存在差异。近期大量研究显示，树木吸附 PM<sub>2.5</sub> 的主要途径为布朗扩散、拦截和重力沉降，树木的整体结构、叶表面微观结构及树木的生长特性是影响这 3 个途径的主要因子。此外，单株树木或树木群体还可以通过改变空气流动的方向和速度来影响 PM<sub>2.5</sub> 的沉降。与此同时，一些树种也可能成为 PM<sub>2.5</sub> 的来源，这类树种能释放大量的活性有机挥发物，与空气中的氮氧化物发生光化学反应，生成臭氧或细颗粒物<sup>[13]</sup>。另外，绿地的结构类型、郁闭度、样地总覆盖率等也可能会对消减率造成影响。

本次研究所选取的时间点和时间段均是只考虑在晴天、微风（风力 3 级以下）、无或轻度污染天气，对其他天气条件下的绿地生态保健作用不具有代表性。

参考文献

[1] 杨凡. 植物景观生态保健功能的研究与应用 [D]. 浙江大学博士研究论文, 2011.  
[2] Avissar R. Potential effects of vegetation on the urban thermal environment[J]. Atmosph. Environ, 1996, 30(3): 437-448.  
[3] Beckett K P, Freer S, Taylor G. Urban woodfields: their role in reducing the effects of particulate pollution[J]. Environment Pollution, 1998, 99:347-360.





- [4] 陈雷, 孙冰, 谭广文, 等. 广州城市绿地植物群落空气负离子特征研究 [J]. 西北林学院学报, 2015, 30(1):227-232.
- [5] 张哲. 深圳市公园绿地植物群落的温湿度效应及对人生理心理的影响 [D]. 北京: 北京林业大学博士研究论文, 2014.
- [6] 阿木热吉日嘎拉. 呼和浩特市不同类型城市绿地减噪效应分析 [D]. 内蒙古: 内蒙古农业大学硕士论文, 2014.7(6):23-27.
- [7] Bertor. Exposure to restorative environments helps to restore attentional capacity[J]. Journal of Environmental Psychology, 2005,25:249-259.
- [8] Kaplan R Kaplan S. The Experience of Nature: A Psychological Perspective[M]. New York:Cambridge University Press, 1989.
- [9] 王永华. 浙江农林大学东湖校区人工植物群落结构与生态保健效应研究 [D]. 浙江: 浙江农林大学硕士研究论文, 2012.
- [10] 王纯友. 生态保健型植物选择的思路 [J]. 低碳世界, 2013, (7):187-189.
- [11] 胡译文, 秦永胜, 李荣桓, 等. 北京市三种典型城市绿地类型的保健功能分析 [J]. 生态环境学报, 2011,20(12):1872-1878.
- [12] 王月容, 李延明, 李新宇, 等. 北京市道路绿地对  $PM_{2.5}$  浓度分布与消减作用的影响 [J]. 湖北林业科技, 2013, 42(06):4-9.
- [13] 常亚敏, 闫蓬勃, 杨军. 北京地区控制  $PM_{2.5}$  污染的城市绿化树种选择建议 [J]. 中国园林, 2015(01):69-73.